

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282018

研究課題名(和文) Pickering安定化機構に基づいた農産物微粒子化素材の調理加工分野への新展開

研究課題名(英文) Application of atomized materials from agricultural products to cookery and food processing

研究代表者

松村 康生 (MATSUMURA, YASUKI)

京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50181756

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：様々な微粒子化素材の食品分野への利用を拡大できるのか、基礎的な検討を行うことを目的として本研究は行われた。米、大豆、トウモロコシ、さつまいも他、様々な野菜について乾式粉碎装置および湿式微細化装置を用いて微粒子化を試みた。得られた微粒子化素材のうち、大豆、トウモロコシ、干し椎茸などの微粒子は、優れた起泡性や乳化性をもつことを明らかにした。その乳化性の発現には、Pickering機構が働いていることを実証したほか、界面に吸着し安定化している成分についても検討を加えた。また、今回調製した微粒子は、メレンゲやマヨネーズなどの実際の食品系への応用が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this project is to explore the possibility of application of atomized materials from various agricultural products to food industry. We tried to atomize various agricultural products including rice, soybean, maize and etc., using several atomizers. Some ultrafine particles show the high foaming ability when they were dispersed in water and stirred vigorously. Particles from sweet potato, shiitake mushroom and komatsuna (a leafy green vegetable) exhibited excellent emulsifying ability. It was shown that the "Pickering" mechanism played an important role in the excellent emulsifying ability of particles. Based on the results of chemical analysis and experiments about the effects of enzymatic treatments of particles on emulsifying properties, we speculated that protein, starch and fiber of particles contribute to the emulsification in different manners. The application of ultrafine particles to food products such as mayonnaise and meringue was proved to be promising.

研究分野：食品科学、食品物理化学、食品物性学

キーワード：微粒子化素材 農産物 調理と加工 Pickering安定化 乳化性 マヨネーズ 起泡性 メレンゲ

1. 研究開始当初の背景

高齢化に伴う咀嚼・嚥下困難者用の食品の開発や、新たな食感などの消費者の多様な嗜好に応えるために、調理や加工の分野でも、新たな素材の導入が必要とされている。そのような素材の候補として最も有力なものの一つと考えられているのが、微粒子化された食品素材である。ここ数年、粉碎化技術は急速に進歩してきた結果、食品素材についても直径数 μm 程度の微粒子を調製することは可能となった。しかし、そのような素材をどのような食品に、どのような形で使用すれば、微粒子の機能を最大限に引き出し、優れた食品を創出できるのか、十分に検討されているとは言い難いのが現状であった。

研究代表者である松村は、農水ナノプロジェクトに参加し、脂質粒子や米粉粒子の特性解析を行い、食品分野への利用が可能か検討を行ってきた。米粉粒子については、その理化学的性質やコロイド特性、ペーストにした際の物性評価を行ってきたが、その過程で、数 μm にまで微粒子化した米粉が油を乳化できる能力があることを見出した。この乳化には、「Pickering 安定化機構」すなわち、固体粒子が油滴表面に集まり油滴を安定化する現象が働いていると予想した。

このような発見を基にして、松村および分担者である香西と松宮は、微粒子化された様々な食品素材が、Pickering 安定化メカニズムによって食品の様々な界面を安定化できるのではないかと、またその現象を調理・加工の分野で利用することにより、新たな物性や味、香りなど品質に優れた食品を創出できるのではないかと着想するに至った。

2. 研究の目的

(1)最新の微粉碎化技術を用いて、穀類、イモ類、野菜等を直径 $10\mu\text{m}$ あるいは、それ以下にまで微粒子化できるか検討する。

(2)調製した微粒子のキャラクターゼーションを行うとともに、その乳化性や起泡性など食品加工に関わる特性を明らかにする。

(3)微粒子化素材が、優れた乳化性や起泡性をもつことが示された場合、なぜそのような加工特性が発揮されるのか、そのメカニズムを明らかにする。

(4)実際の食品に近いモデル系で、調製した微粒子が調理や加工素材として利用可能であるか検証する。その結果に基づいて、実際の加工調理の利用に関する提言や発信を行う。

3. 研究の方法

(1)微細化装置および微細化条件の検討

①乾式粉碎装置

小型粉碎机（高速回転する粉碎刃で粉碎する方式）とドライバースト（高速対向気流に乗せて試料同士をぶつけ合うことにより粉碎する方式）を用いて、どの程度粉碎が可能か、比較検討した。

②湿式微細化装置

家庭用ミキサー、攪拌式ホモジナイザー（以下ブレンダー）、スターバースト（水に分散させた試料を最大 245MPa の圧力で加圧してセラミックスボールに衝突させる、あるいは試料同士を衝突させることにより微細化を行う方式）を用いて、どの程度微細化が可能か、比較検討した。

なおこれらの検討において、攪拌方式のものについては回転数、加圧衝突方式のものについては圧力や流速などを変えて、適性条件の確立に努めた。

(2)微細化粒子のキャラクターゼーション

①乾燥状態の微粒子

粒度分布、見かけ密度、色、吸湿率を測定した。

②水に分散した状態の微粒子

粒度分布、ゼータ電位、粘度を測定するとともに顕微鏡（光学顕微鏡、電子顕微鏡）観察を行った。

(3)食品機能特性の評価

①乳化

乳化法は、水と油を所定濃度混合し、ブレンダーで攪拌する、あるいは、さらに高压ホモジナイザー処理することにより乳化した。乳化能や乳化安定性の評価については、乳化後の全液量に対する乳化層の液量の算出、粒度分布測定、遠心分離による遊離油の定量等で行った。

②起泡性

ブレンダーで粒子分散液を激しく攪拌し泡立たせた。シリンジに写し、全容積より液部の容積を差し引いて泡沫容積とした。

(4)優れた機能特性発現機構の解明

①顕微鏡観察

光学顕微鏡、電子顕微鏡により、微粒子の油滴表面での吸着状態を観察した。また、タンパク質、脂質、多糖類に特異的な蛍光染色剤を用いて染色後、共焦点レーザー顕微鏡で観察することにより、油滴表面に吸着している成分の同定を試みた。

②酵素処理による乳化性の変化

微粒子を α -アミラーゼ、プロテアーゼ K、セルラーゼ、キシラナーゼ、それぞれにより処理し、得られた微粒子を用いて、油を乳化した。(3)の①で記載した乳化能、乳化安定性評価法を用いて、乳化液の評価を行った。未処理の微粒子で乳化した乳化液をコントロールとして、結果を比較することにより、どの酵素処理によって乳化能、乳化安定性が影響を受けるのかを調べた。この結果より、それぞれの成分の乳化への寄与を考察した。

(5)実際の食品への応用可能性の検証

①起泡性の応用（対象食品：メレンゲ）

卵白を基本材料とし、そこに微粒子を加えた場合の泡立ちを評価した。なお、通常メレンゲには砂糖を加えるが、砂糖を通常の添加量から無添加まで、様々に量を変化させて加えた。また、メレンゲの絞り出しによる成形の状態を観察するとともに、焼成後も形が維持されているのか検討した。さらに、スポンジ

ケーキに微粒子を加えた場合の膨らみの程度、保水性についても検討を加えた。

②乳化性の応用（対象：マヨネーズ様ドレッシング〔以下マヨネーズと略す〕）

水、穀物酢、食塩、サラダ油に各微粒子を加えてブレンダーで攪拌することによりマヨネーズを調製した。なお、油濃度は65%あるいは67%とし、ほぼ通常のマヨネーズと同等であった。比較対象として、微粒子の代わりに卵黄を用いてマヨネーズを調製した。なお、微粒子を水に分散した場合、油に分散した場合の2通りの分散法でマヨネーズを調製した。評価法としては、得られたマヨネーズの外観を観察するとともに、その粘度を測定した。また、冷解凍による油の分離状態によって冷凍耐性を、パン表面にマヨネーズをトッピング後、オーブンで焼成し、形状の保持、油の分離程度により耐熱性評価を行った。

4. 研究成果

(1) 微細化装置および微細化条件の検討

① 乾式粉砕装置

小型粉砕機とドライバーストにより、同一の試料を粉砕し、その平均粒子径を比較した。その結果、米や、さつまいもなどの穀類については、小型粉砕機処理の場合には、概ね100 μm 前後の平均粒子径を示したのに対し、ドライバースト処理では概ね10~20 μm 、大きなものでも30 μm の粒子径を示し、微細化が効率よく行われることがわかった。一方、乾燥したトマト、小松菜などの野菜、干し椎茸は、小型粉砕機によっても約30 μm の平均粒子径が得られたのに対し、ドライバースト処理でも約20 μm の粒子径となり、微細化効果が大きいとはいえなかった。

② 湿式微粒子化装置

主にトマト、ニンジンなどの野菜について、どのくらい微細化が進むのか、粒度分布測定から平均粒子径を算出し、比較を行った。家庭用ミキサー、ブレンダーでは、数百 μm の粒子径に微細化が進んだ程度であったのに対し、スターバーストを用いた場合には、50 μm 以下に微細化が進んでいた。

(2) 微細化粒子のキャラクターゼーション

① 乾燥状態の微粒子

精白米、玄米、トウモロコシ、乾燥トマト、小松菜の葉あるいは茎、干し椎茸、大豆、しょうが、ごぼう、さつまいもの各サンプルについて、粒度分布、見かけ密度、色、吸湿率を測定した。粒度分布については、既に前項で記載した。他の測定項目の結果は、ここでは特に示さないが、事項以下の機能特性と関連させて議論する。

② 水に分散した状態の微粒子

粒度分布については、既に前項で記載した。光学顕微鏡観察の結果（図1）、トマト、ニンジンの場合とも、ミキサー処理の場合には、長い繊維、細胞の集合体などの様々な構造が観察された。しかしスターバースト処理した場合には、長い繊維や大きな構造体は見出さ

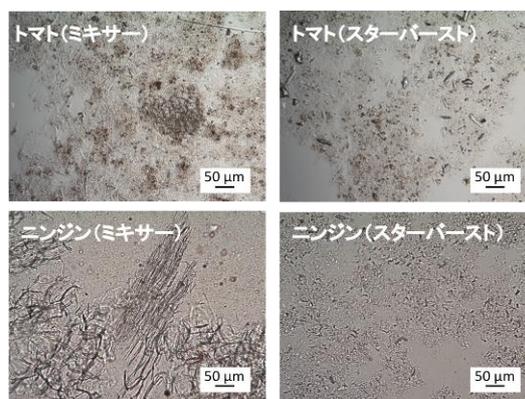


図1 トマトおよびニンジンの微細化処理による生成物の光学顕微鏡による観察
微細化にはミキサーあるいはスターバーストを用いた。

れず、微細な粒子のみが認められた。ただし、それらの微粒子は集合して存在している様子が観察された。以上の結果、スターバースト処理により、植物が通常もつ組織は、かなり破壊され、効率的に微粒子が生成することが確認された。ゼータ電位測定の結果、ミキサー処理では、どちらの野菜でも、ゼータ電位はマイナス数 mV の低い値を示したが、スターバースト処理により、-20 mV と高い値を示した。ミキサー処理では、放出されなかったペクチンなどの多糖類が、スターバースト処理により組織が破壊されることにより放出されたものと考えられる。スターバースト処理により繊維がほぐれている様子は、電子顕微鏡観察でも示された。

(3) 食品機能特性の評価

① 乳化

乾燥状態の微粒子を、水あるいは油相に分散し乳化を行い、生成物の乳化層の割合から乳化力を検討した。その結果、さつまいも、小松菜（葉）、干し椎茸は高い乳化性を示した。特に干し椎茸から調製した乳化物は、2時間以上、乳化層の割合が変わらないなど、良好な乳化性、乳化安定性を示した。なお、どの試料においても、概ね、微粒子を油に分散させた場合の方が、水に分散させた場合に比べて高い乳化性を示した。

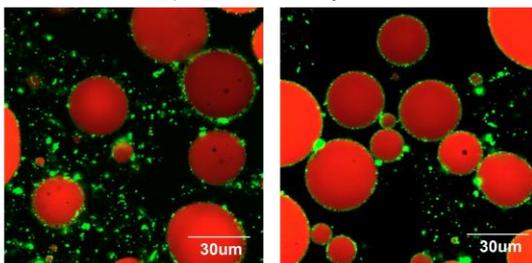


図2 トマト微粒子により乳化された油滴の共焦点レーザー顕微鏡による観察
（左）ミキサー処理で調製した微粒子を用いた場合
（右）スターバースト処理で調製した微粒子を用いた場合
（油相：Nile Red、水相：Fast Green FCFで染色）

湿式微粒子化装置（ブレンダーあるいはスターバースト）で微細化した野菜を用いて油を乳化した。乳化に用いた装置は、ブレンダーのみである。どちらの方式で微細化した場

合でも、良好な乳化物が得られたが、特にニンジンでは、スターバーストで微細化した粒子を用いた場合の方が、長時間（5日間）安定な乳化物が得られた。トマトの微粒子で乳化した乳化物の共焦点レーザー顕微鏡写真を図2に示す。どちらの方式で微細化した微粒子を用いた場合でも、粒子が油滴表面の周りに吸着している様子が観察された。すなわちPickering 安定化機構によって、乳化物が生成していることが確認できた。スターバーストで微細化した粒子を材料として用いた場合、より細かな粒子が油滴表面に吸着している様子が観察された。

②起泡性

乾燥状態の微粒子を水に懸濁し、その起泡性を評価した。その結果、(2)で測定した特性値のうち、見かけ密度については、その値が小さいサンプルほど、起泡性は高くなる傾向を見出した。しかし、粒子径との間には相関が認められなかった。また、含まれる成分との関係を考察したところ、炭水化物が多い試料（米、さつまいも等）は起泡性が乏しく、食物繊維が多い試料（小松菜、ごぼう、干し椎茸等）は高い起泡性を示すことが明らかとなった。ことに、干し椎茸は高い起泡性を示した。食物繊維のもつ粘度増加効果や保水性が、泡沫中の離漿を防いでいるのであろう。ただし、干し椎茸の場合、最も高い起泡性を示すのは2%の分散液の場合で、それ以上濃度を高めると却って起泡性は減少した。おそらく、食物繊維による顕著な粘度増加が、起泡そのものを妨げることになるのであろう。それに対し、大豆の場合は、2%分散液では、ほとんど起泡性を示さないのに対し、濃度を増加させると顕著な起泡性を示し、20%では、2%干し椎茸の場合を凌駕するほどの高い起泡特性を示した。これは、堅い大豆粒子がPickering 安定化効果を発揮し、気液界面を安定化させていると考えられる。

(4)優れた機能特性発現機構の解明

①顕微鏡観察

乾燥した微粒子を用いて油を乳化し、その乳化液の構造を光学顕微鏡、電子顕微鏡で観察したところ、微粒子が界面に吸着している様子が観察された。その中で、トウモロコシの微粒子から調製した乳化液について、共焦点レーザー顕微鏡観察を行った。その結果、タンパク質、セルロース（ヘミセルロース）が油滴表面に吸着している様子が観察された。特にタンパク質の場合には、Pickering 様粒子を形成して吸着していることが確認された。また、吸着成分を回収し、その成分組成を分析したところ、タンパク質に加え、澱粉も含まれることが確認された。以上の結果より、トウモロコシ粒子で油を乳化した場合、その乳化には、タンパク質、澱粉、食物繊維が複合的に関与していることが明らかとなった。

②酵素処理による乳化性の変化

方法のところでも記載した各種酵素によっ

て微細化粒子を処理し、乳化能、乳化安定性への影響を観察した。ここでは、トウモロコシ微粒子の結果について述べる。まず、ブレンダーにより、乳化した場合には、澱粉の分解、セルロースの分解によって、生成した乳化物の粒子径が大きくなり、乳化能が低下することが明らかとなった。この乳化法では、タンパク質分解は結果に影響しなかった。しかし、この乳化物を高圧ホモジナイザーでさらに均質化した場合には、タンパク質分解によって乳化物の粒子径は増大した。すなわち、乳化時のせん断エネルギーが比較的低い場合には、澱粉、セルロースが影響し、さらに高せん断を加えた場合には、タンパク質が関与することになる。タンパク質の凝集力は、他の成分に比べて強いいため、高せん断エネルギー条件下で、より微細化され、その吸着が大きくなり乳化に寄与すると思われる。さらに遠心安定性試験によって乳化安定性を評価したところ、どの成分でも乳化安定性は低下していたが、特に高せん断速度を加えて調製した乳化物の場合、澱粉とタンパク質の寄与が大きかった。以上、トウモロコシ中の主要な成分は、全て乳化性に寄与していることが示されたが、その寄与の程度は、成分毎に、また乳化法によっても変化することが明らかとなった。

(5)実際の食品への応用可能性の検証

①起泡性の応用

様々な微粒子を卵白メレンゲ調製時に添加し、離漿がどの程度抑制されるか測定した。その結果、卵白に対して、砂糖添加量が低い場合（0～50%）、離漿は比較的速やかに起こるが、精白米や干し椎茸微粒子の添加によって離漿が抑制されることが示された。砂糖濃度が30%以下の時には、干し椎茸の方が効果が高く、50%になると精白米の方が効果の高いことが示された。絞り出しによる成形および焼成後の形状維持についても、微粒子を添加すると効果のあることが示され、メレンゲのような含気食品の調製に微粒子が利用可能であることが明らかとなった。なお、スポンジケーキに、これら微粒子を加えた場合、膨らみ・保水性には特に影響は認められなかった。

②乳化性の応用

各種微粒子を卵黄の代わりに用いることでマヨネーズを調製できるか検討した。なお、微粒子は油の方に添加した。その一例として干し椎茸の微粒子を用いた場合の結果を示す（図3）。油濃度を徐々に増やして乳化を



図3 干し椎茸微粒子によるマヨネーズの調製

試みたが、油濃度 67%までは乳化可能で、十分粘度が高く、回転羽に付着できる良好なマヨネーズ状態を示した。しかし、68%で転相した。この結果より、67%までは油を含有できるマヨネーズ様の乳化物が調製できることが明らかとなった。他の微粒子についても検討したところ、もち米、トウモロコシ、ひじき、干し椎茸の微粒子を用いた場合、マヨネーズが形成され、その乳化状態は 45 日経過後も保たれていた。さらに、冷凍耐性試験を行ったところ、微粒子から調製したマヨネーズは、通常の卵黄を原料するマヨネーズ同様に冷凍耐性を示さなかった。



図4 様々な素材の微粒子から調製したマヨネーズの耐熱性試験
パンの上にマヨネーズを絞り出し、200°Cで10分加熱し形状を観察した。

しかし、パンの上に各マヨネーズを絞り出し、焼成試験を行った結果、油は分離するものの絞り出した形状は保たれ、焼成製品の飾り付けに利用できることが示された(図4)。以上のように、今回調製した微粒子は、実際の食品への応用が可能であることが示された。今後調製条件をさらに検討することにより、通常のメレンゲやマヨネーズに匹敵する品質の製品が作り出せるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 矢吹実菜子、内海麻衣、松宮健太郎、松村康生、香西みどり. 微粒子化食品素材の調理加工特性の検討、日本調理科学会、2014年8月30日、広島県立大学(広島県・広島市).
- ② 内海麻衣、松宮健太郎、矢吹実菜子、香西みどり、松村康生. 野菜の超微細化処理による特性変化、日本調理科学会、2014年8月30日、広島県立大学(広島県・広島市).
- ③ 松宮健太郎(招待講演). 澱粉で食品からの香気放散は制御できるのか、平成27年度日本応用糖質科学会中国・四国シンポジウム、2015年11月20日、福山大学(広島県・福山市).
- ④ Mai Utsumi, Kentaro Matsumiya, Minako Yabuki, Midori Kasai, Yasuki Matsumura.

Key factors contributing to the stability of emulsion prepared with maize powder, 2nd Food Structure and Functionality Forum Symposium - From Molecules to Functionality - 国際学会、2016年3月1日、Singex Singapore.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松村康生 (MATSUMURA, Yasuki)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：50181756

(2) 研究分担者

香西みどり (KASAI, Midori)
お茶の水女子大学・基幹研究員・教授
研究者番号：10262354

松宮健太郎 (MATSUMIYA, Kentaro)

京都大学・大学院農学研究科・助教
研究者番号：60553013

(3) 連携研究者

なし